MPLS 망 기반 IP VPN의 설계 및 성능 평가

박 석 천[†]

요 약

본 논문에서는 VPN에 별도의 ID를 부여하여 터널링 없는 가상공간 할당으로 터널링이 주는 추가의 오버헤드와 네트워크 주소 변환이 필요없는 효율적인 VPN을 제공해 줄 수 있는 MPLS 망을 설계하였다.

VPN과 MPLS의 개념 및 동작을 분석하고, 이를 기반으로 MPLS 망에서 IP VPN 지원 방안을 제안하였으며, 또한 제안한 방안에 따라 BGP 및 LDP를 포함하는 MPLS VPN 제어요소와 MPLS VPN의 동작절차를 설계하였다. 본 논문에서 설계한 MPLS VPN은 라우팅 정보를 바탕으로 노드마다 주소 변환을 하지 않고 레이블 스와핑을 통하여 제공자 네트워크의 경로를 설정하며, 확장성 및 IP 전송능력 등 MPLS의 장점을 그대로 수용할 수 있도록 하였다. 또한 제안된 MPLS 기반의 IP VPN 제공 방안에 대하여 성능 평가를 수행하였으며, 성능 평가 분석 결과 MPLS 기반 VPN은 네트워크 트래픽이 많은 경우(throughput(p)이 0.6이상)일 때, 지연이 급격히 증가하는 ATM 기반 VPN에 비하여 상대적으로 완만하게 지연이 증가하였다. 따라서 성능평가를 통하여, MPLS 기반의 VPN이 고속의 패킷 처리 능력을 갖으며 높은 네트워크 효율성을 갖는다는 것을 확인하였다.

Design and Performance Evaluation of IP VPNs based MPLS

Seok-Cheon Park[†]

ABSTRACT

This paper proposed that an MPLS-based VPN using next-generation IP switches and appropriate set of traffic engineering algorithms is the best way to implement QoS-capable IP VPNs. While ATM-based solution would not rely scalable the number of connections becomes too large, MPLS-based VPNs' efficiency could be confirmed network delay time through performance evaluation.

And we evaluated the performance about the IP VPN based on proposed MPLS, at the result of evaluation. We figured out that delay increased more slowly in case of VPN based on MPLS comparing with the VPN based on ATM which has rapid delay increasement. Therefore we confirm that the VPN based on MPLS has high speed of packet processing and high degree of network efficiency through the performance evaluation.

1. 서 론

인터넷은 세계를 연결하는 글로벌 네트워크로서 WWW 및 고성능 PC의 보급, 그리고 통신망의 발달로 보편적인 서비스로 형성되어 그 사용자만큼이나 데이터트래픽 또한 급증하였다. 하지만 기존의 인터넷은 고속의 멀티미디어 트래픽의 사용자 요구를 만족시켜 주기에는 IP 전송능력, 확장성, QoS보장 등의 근본적으로 개선되어야 할 문제점을 가지고 있다.

초기에 IP 제공의 기술로 IPOA(IP Over ATM)의 오버레이 모델인 MPOA(Multi-Protocol Over ATM) 이라는 기술을 표준화하였으나, 이 기술은 그 구현이 복잡하고 대형 네트워크로 확장성 문제로 인하여 솔루션의 관심은 오버레이 모델에서 통합 모델로 옮겨가게 되었다.

통합 라우팅 모델은 각 벤더별로 연구가 진행되다가 국제 표준화 기구인 IETF에서 MPLS(Multi-

본 연구는 99년도 경원대학교 학술연구비 지원으로 이루어졌음.

[†] 종신회원, 경원대학교 전자계산학과 교수

Protocol Label Switching)라는 표준화된 기술을 제안하기에 이르렀다[1]. 또한 VPN(Virtual Private Network)은 공공의 네트워크를 마치 자신의 전용선처럼 사용할 수 있어 생산성 향상과 비용절감 효과를 얻을 수 있기 때문에, 분산된 지사를 가지고 있는 기업의 네트워크를 구축하는데 있어 주목을 받고 있다.

기업의 인트라넷이 WAN을 통해 투명성 있게 확장하려면 경제적 효율성으로 고려하여 IP VPN으로 진화되어야 하는데, 이는 터널링과 암호화 기법에 따른 오버헤드를 가져오며, 네트워크 제공자는 IP VPN의 단점인 복잡한 관리와 높은 오버헤드의 문제를 안고 있어야 한다. 그러나 MPLS 기반의 VPN은 VPN ID를 부여하여 터널링 없는 가상공간 할당으로 IP VPN의 문제점들을 해결하고 효율적인 서비스를 제공한다.

이렇듯 네트워크 제공자가 기업 고객에 대하여 VPN을 제공해 주는데 있어서, MPLS 망에 기반하면 MPLS의 장점을 수용하여 효과적인 서비스를 제공할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 VPN과 MPLS의 개념을 분석하고, 이를 기반으로 MPLS망에서 투명하게 VPN을 제공하는 방안을 제시하였다. 또한 MPLS VPN의 제어요소와 동작절차를 설계하고, 제안한 방안에 대하여 성능평가를 수행하였다.

2. VPN과 MPLS 연구

2.1 가상 사설망(VPN)

2.1.1 VPN 개요

VPN은 인터넷에 방화벽이나 인증 장비, 암호화 장비를 통해 외부 사용자의 침입을 차단함으로써 공공의 네트워크를 자신의 사설 네트워크처럼 사용하는 기술로서, 전용회선, X.25, 프레임릴레이 등 기존 리모트 엑세스 솔루션의 대안으로 부상하고 있다. 이렇듯 VPN을 도입하는 주요한 이유는 다음과 같다.

• 통신 비용의 절감

인터넷을 통한 VPN으로 글로벌 네트워크를 구성하면서도 네트워킹 비용을 절감할 수 있다. 특히 장거리 지사를 연결하는 전용회선을 VPN으로 대체하였을 경우 상당한 비용절감을 가져온다.

• 익스트라넷을 위한 최적의 수단

고객이나 비즈니스 파트너를 연결해 주는 익스트라넷 VPN의 경우, 공급 및 판매 업체들이 자사 중앙 시스템에 직접 온라인으로 엑세스함으로써 보다 효율적인 재고 관리를 할 수 있으며, 운영비용을 절감할 수 있다.

• 인터넷 이용과 WAN 접속과 통합

어플레케이션을 인터넷 기반 하부구조에 통합하면, VPN을 통해 이동 직원과 원격 사용자에게 안전한 원격 LAN 서비스 접속을 제공할 수 있다.

2.1.2 VPN 구조

VPN은 회선을 어떻게 사용하는가에 따라, 기간망까지 해당 기업의 전용선을 연결하고 그 이후는 기존 망을 임대 사용하는 전용회선 기반의 VPN, 전화접속과 전용회선을 혼용한 VDPN(Virtual Dial-up Private Network), 그리고 인터넷을 기반으로한 VPN으로 크게 구분할 수 있다. 본 논문에서는 구축의 경제성과 글로벌 네트워크 구축의 이점으로 관심을 모으는 인터넷을 기반으로한 VPN을 주요 논의 대상으로 한다.

인터넷이 리모트 엑세스 수단으로 주목받는 까닭은 사용자가 세계 어느 접속점에서도 이용할 수 있는 인터넷의 글로벌 네트워크 특성 때문이다. 이러한 VPN 구축의 예로 라우터가 기본적으로 제공하는 보안 기능을 활용해서 폐쇄그룹을 설정할 수 있다[3]. 여기서 그룹에 등록되지 않은 제 3자는 엑세스할 수 없으며, 인터넷으로 오고가는 데이터는 암호화되어 있어 패킷을 가로채더라도 볼 수 없게 된다.

이렇게 인터넷에 연결하는 사용자끼리 폐쇄그룹을 구성하는 것을 IP VPN이라고 하며, 그림 1에 일반적인 IP VPN의 구현 형태를 나타내었다. 이 방법은 암호화 기능을 내장한 동일 벤더의 라우터를 양쪽 사이트에 설치하고 라우터가 제공하는 사용자를 인식한 다음 데이터를 암호화한 후 송신하게 된다.

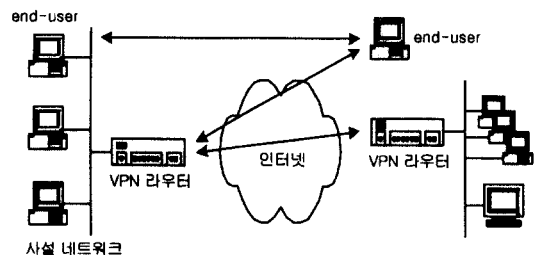



그림 1. 인터넷 기반의 VPN 구현 형태

2.2 멀티프로토콜 레이블 스위칭(MPLS)

2.2.1 MPLS 개요

IETF에서 표준화가 진행되고 있는 MPLS는 ATM 계층과 IP 계층이 같은 라우팅 프로토콜을 사용하는 통합 라우팅 모델의 대표적인 기술이다. MPLS의 주요 장점은 2계층과 3계층을 연결하여 네트워크를 통합하면서도 기타 IP/ATM 연결 옵션에 비해 운영비용 및 복잡성을 줄였다는데 있으며, ATM과 함께 사용하면 모든 서비스 제공자에게 ATM 기반 QoS를 가능하게 한다는 것이다. MPLS는 레이블 스위칭을 표준에 기반하여 구현하기 때문에 여러 벤더들의 장비들을 상호 연동해 운영할 수 있는 개방형 환경을 제공한다. 실제적으로 MPLS는 TCP/IP 구조를 수용하며 보다 나은 라우팅 요구사항을 수용하는 차세대 기술로 자리 잡을 것이다.

확장성 측면에서 통합 라우팅 방식의 MPLS를 IPOA와 비교하면 그림 2와 같다. IPOA 모델의 경우 라우터 피어링의 관점에서 볼 때 비록 물리적 링크로는 라우터와 스위치가 연결되어 있지만 그림 2의 (a)와 같이 라우터 동료(peer)간에는 VC에 의한 논리적 링크가 설정되어 있다. 이 때 라우터 간의 별도의 라우트 홉을 줄이기 위해서는 모든 라우터 간에 별도의 VC가 필요하게 되며, 따라서 중간 라우터는 병목(bottleneck) 현상을 초래할 수 있다.

하지만 통합 라우팅을 사용하면 오버레이 모델과는 달리 동일한 주소 정보를 통해 라우터와 스위칭 사이에 경로 설정이 이루어지므로 주소 변환의 문제가 없으며 따라서 주소 변환 서버도 필요하지 않는다. 또한 라우터 피어링의 문제에 있어서도 그림 2의 (b)와 같이 라우터와 스위치 사이에 물리적 연결이 있는 경우에만 동료로서 취급하면 되기 때문에 전자의 경우에서 비롯되는 라우트 트랩의 문제를 완화할 수 있다.

(a) IPOA 모델 (b) 통합라우팅 모델

그림 2. IPOA 모델과 통합 라우팅 모델의 구조

2.2.2 MPLS 구조

MPLS 망은 입구 LSR(Label Switching Router), 코어 LSR, 출구 LSR로 구성되며, 3계층 루트들은 MPLS 종단 노드에 의해 MPLS 레이블로 맵핑된다. 그러면 LSR이 패킷들을 레이블에 지정되어 있는 경로로 전송해 준다[2].

LSR은 라우팅 프로토콜, RSVP(Resource Reservation Protocol)와 같은 표준 IP 구성 요소와 레이블 스와핑 전송 구성요소를 모두 지원하는 일종의 장비이다. 그림 3은 입구와 출구기능을 수행하는 레이블 에지 라우터(LER : Label Edge Router)와 고속의 스위칭을 제공하는 코어 LSR로 간단한 MPLS 망을 구성한 예이다[5].

MPLS 패킷 전송 방식은 레이블을 교체(swapping)하면서 전송하게 되는데, 입구 LSR에 도착하게 되면, 패킷의 목적지 주소나 레이블 맵핑 정책에 의하여 패킷에게 레이블을 붙이게 된다. 이렇게 레이블이 붙여진 패킷은 다음 홉으로 전송되고, 각 LSR에서는 패킷에 실려온 레이블을 인덱스로 사용하여 다음 홉과 새로운 레이블을 결정하고 패킷의 레이블을 새로운 레이블과 교체한 후 다음 홉으로 전송하게 된다. 따라서 기존의 IP 라우팅 방식에서처럼 각 패킷의 목적지 주소에 따라 테이블 탐색 시간 낭비를 하지 않을 수 있다. 또한 ATM 망에서는 VPI/VCI(프레임릴레이 망에서는 DLCI)값을 레이블로 사용하기 때문에 IP 라우팅을 위하여 필요한 각 라우터에서 ATM 셀을 재조립하여 IP 패킷으로 만들 필요가 없다. 따라서 MPLS를 사용하면 종단간 ATM 연결설정 절차없이 높은 처리율을 얻을 수 있다[1].

Label Switching Router(LSR)
- Switching on Label
- Label swapping
MPLS Domain
LER
Label Edge Router(LER)
- Full-function Layer 3 routers
- Label Binding basedRIB
LER
MPLS Control Component
ATM Switch Fabric

그림 3. MPLS 망의 구성

3. MPLS 망에서 VPN 지원 방안

VPN의 가장 큰 장점은 경제성으로, 기업은 통신 사업자의 공공 네트워크를 마치 자사의 전용 네트워크 회선처럼 사용할 수 있으므로 생산성 향상과 비용 절감 효과가 큰 솔루션이다. IP VPN은 터널링과 암호화 기법을 필요로 하는데 이는 별도의 전용 장비나 오버헤드를 초래하게 된다. 따라서 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 VPN을 MPLS에 적용하면 VPN ID를 이용하여 터널링이 주는 추가의 오버헤드 없이 가상 공간을 고객에게 제공해 줄 수 있다.

3.1 MPLS VPN의 구조

MPLS 기술을 VPN에 적용하게 되면 고유의 VPN ID를 부여하여 터널링 없는 가상공간 할당으로 ATM 기반으로 PVC/VP를 이용하여 Label 처리되므로 기존 IP VPN의 단점이 터널링이 주는 추가의 오버헤드 없이 원격지 사용자들과 사무소가 마치 본사의 네트워크에 직접 연결되듯이 시내 전화로 ISP의 네트워크에 연결할 수 있으며, 네트워크 관리자의 복잡한 관리도 해결할 수 있게 된다.

MPLS는 하나의 IP 세션 내에 있는 패킷들을 네트워크 계층에서 하나의 흐름으로 묶은 다음 경로를 따라 라우터를 쉽게 통과할 수 있도록 각각의 세션에 레이블을 달아준다. 일단 흐름이 이루어지면 MPLS는 전달을 위해 전용 데이터 회선에 그 흐름을 맵핑한다. MPLS의 레이블을 이용하여 서로 다른 VPN간에 트래픽을 격리시켜 효율적인 패킷 전송을 하는 것이 MPLS 기반 VPN 기술의 핵심이며, 이를 간단히 MPLS VPN이라 한다.

기본적인 MPLS VPN의 구조는 그림 4와 같이 사설 네트워크의 PNL과 제공자 네트워크의 PEL, 코어 LSR, 그리고 PNL과 PEL을 물리적으로 연결하는 공유 엑세스 링크(SAL)로 구성되어 있다[4]. 제공자 네트워크는 같은 VPN 서브넷의 PNL에 의해 VPN 라우팅 정보 교환과 제공자 네트워크를 가로지르는 데이터그램을 전송하는데 사용되는 LSP(Label Switching Path)를 제공한다. 제공자 네트워크를 가로지르는 동적인 라우팅 정보 교환의 속성은 네트워크 관리를 용이하게 하며, 오퍼레이터 개입이 필요한 정적 라우팅의 필요를 제거해 준다[7].

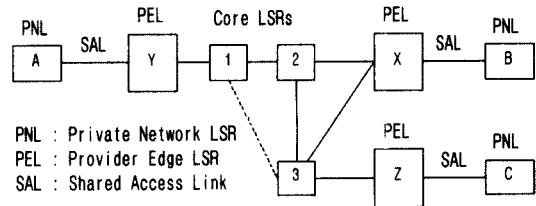



그림 4. MPLS 기반 VPN 구조

MPLS 기반 VPN 기술은 최종 승인 단계에 있는 MPLS 표준과 함께 BGP(Border Gateway Protocol) 표준을 지원한다. 레이블에 부속된 패킷에 대한 우선 전달 정보와 같은 QoS 요구사항을 레이블에 포함시킬 수 있도록 MPLS에 대한 확장 기능을 제공하게 되면 서비스 공급업체는 이 정보를 이용해 수많은 내부 네트워크 경로 중에서 특정 네트워크 경로를 구분할 수 있다. MPLS 확장 기능을 통해 VPN ID를 부여해 터널링 없이 가상 공간을 제공하며, PVC/SVC에 다른 콜 셋업 절차가 복잡하지 않아 관리가 쉬우며, 확장성을 확보할 수 있는 것이 특징이다. 즉 MPLS VPN은 높은 확장성, 효과적인 비용, 그리고 사용자 요구의 광범위한 핸들링을 제공하여 IP 서비스를 낮은 비용으로 제공해 준다.

3.2 MPLS망에서 VPN 지원 방안

MPLS 기반 VPN은 각각의 VPN에 경로 구별자(RD : Route Distinguisher)라는 ID를 할당하는데 이는 서비스 제공자 도메인에서는 유일한 것이 된다. 또한 포워딩 테이블은 유일한 VPN-IP 주소를 가지고 있는데, 이는 RD와 고객 IP 주소가 연결되어 만들어진다. VPN-IP 주소는 네트워크 각각의 종단점에서 유일하며, VPN 각 노드의 포워딩 테이블에 저장된다[8].

BGP는 멀티프로토콜 확장과 공유 속성을 이용하여 네트워크 에지에서 VPN 연결성을 정의하는 라우팅 정보 배포 프로토콜이다. MPLS 기반 VPN에서 BGP는 같은 VPN 멤버에게만 VPN에 대한 정보를 배포하며, 트래픽 분리를 통해 보안을 제공한다. 제공자 네트워크 안에서 패킷 포워딩은 입력 노드에서 적용되는 레이블에 기초하여 완전히 결정하고, 이런 차례는 패킷이 도착하는 입력노드 인터페이스에 의해 결정한다.

VPN 포워딩 테이블은 VPN-IP 주소와 일치하는 레이블을 포함하고 있다. 레이블이 IP 주소를 대신하면서부터, 고객은 네트워크 주소변환을 필요로 하지 않는 고객 사설 주소를 취하여 MPLS 망을 통해 트래픽을 전달한다. 그림 5에서 MPLS 기반 VPN의 원리를 나타낸다.

이런 솔루션의 장점은 제공자가 같은 하부구조로 여러 VPN들을 제공해 줄 수 있으며, 각 고객마다 분리된 네트워크를 구축할 필요가 없다는 것이다. 제공자는 모든 가입자를 위한 하나의 네트워크를 형성할 수 있으며, 네트워크는 복잡한 관리, 터널링이나 VC-mesh 없이 인트라넷과 익스트라넷과 같은 사설 IP 서비스를 제공한다.

전송 예	
수신	송신
(15) 10.2.1	(15) 10.1.1,(15) 10.3.1
(354) 10.2.1	(354) 10.1.1

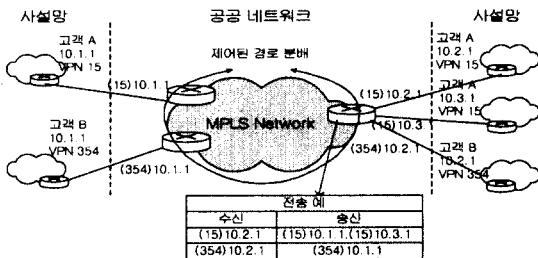



그림 5. MPLS 기반의 VPN 원리

4. MPLS 기반 VPN의 설계

본 논문에서는 MPLS/VPN에 대한 실제적인 호처리절차 및 제어요소를 정의하였고, 이를 토대로 MPLS/VPN의 동작 절차를 설계하였다.

4.1 MPLS VPN의 제어 요소 설계

MPLS VPN은 기존 라우팅 프로토콜인 BGP, OSPF를 이용하여 네트워크 노드들의 포워딩 정보인 FIB(Forwarding Information Base)를 생성 및 VPN의 연결 상태 정보를 얻게되며, 이를 바탕으로 MPLS 네트워크 내에서는 LDP(Label Distribution Protocol) 절차를 통해 레이블 할당 및 레이블 정보를 배포하게 된다. 이를 기반으로 ATM 인터페이스상에서 동작하는 MPLS 프로토콜 제어 요소들을 정의하면 그림 6과 같다.

MPLS 망에서는 호 설정을 위하여 라우팅 관리자는 BGP 등에 의하여 수집된 라우팅 정보를 관리하여

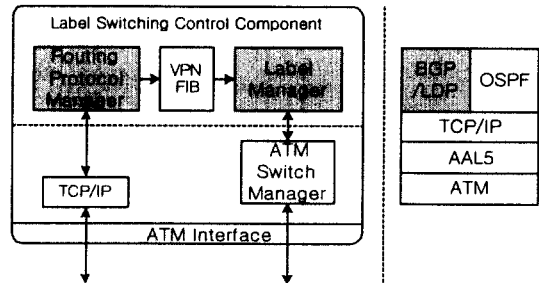



그림 6. ATM 기반 MPLS VPN 프로토콜

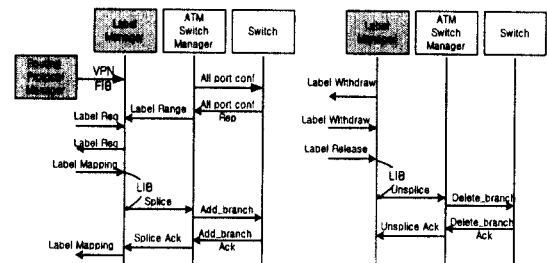
LDP를 포함하는 레이블 관리자에게 알려준다. LDP는 이 라우팅 정보를 포워딩 정보로 재구성하여, FEC (Forwarding Equivalent Class)별로 레이블 할당을 요청한다. ATM 스위치 관리자는 레이블 제어 ATM 자원, 즉 VPI/VCI 값으로 연결 설정을 한다[6]. 그림 7은 MPLS VPN의 호 설정 절차 및 호 해제 절차를 설계한 것이다.

(a) 호 설정 절차 (b) 호 해제 절차

그림 7. MPLS VPN 호 설정 및 해제 절차

4.2 MPLS VPN의 동작 절차 설계

MPLS에 기반하는 VPN 지원 방안은 MPLS 에지 라우터에 연결된 VPN에 VPN ID를 할당하고 이를 라우팅 정보에 포함시켜 MPLS내에서 유일한 주소를 가지고 각 노드마다 네트워크 주소 변환(NAT : Network Address Translation)을 하지 않고 목적지로 레이블 스와핑을 통하여 패킷을 전달하는 동작을 수행한다[4].

VPN을 지원하는 MPLS의 동작 절차를 간략히 정리하면, VPN ID를 부여하여 VPN-IP 주소를 생성하고, VPN 라우팅 정보를 배포하고, 레이블과 VPN-IP 주소를 맵핑하여 NAT 없이 제공자 네트워크에서 유일한 주소를 제공한다. 이러한 라우팅 정보를 가지

고 네트워크내 포워딩 경로를 설정하여 VPN 간에 통신을 설정하게 된다. 그림 8은 MPLS 망에서 VPN을 지원하는 동작 절차의 흐름도이다.

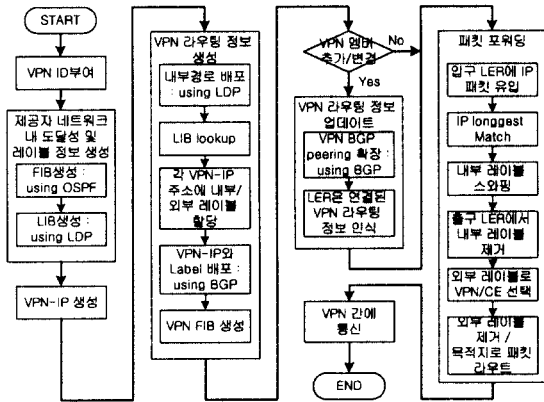



그림 8. MPLS VPN의 동작 절차 흐름도

실제로 VPN B에서 MPLS 망을 가로지르는 가상 공간을 통해 패킷을 전송하는 예를 들어 살펴보자. MPLS VPN은 서비스 제공자 네트워크의 제공자 라우터 (Core LSR)와 제공자 에지 라우터, 그리고 고객 에지 라우터로 구성되어 있다. VPN마다 고유한 RD를 부여하며, VPN 안에서 IP주소는 유일하다. 기존 라우팅 프로토콜인 OSPF를 통하여 FIB를 생성하고, LDP를 통하여 LIB를 생성한다. 그림 9와 같이 입구 에지 LSR은 정적인 라우팅 BGP, RIP를 이용하여 경로를 인식한다. 여기서 에지 LSR에서는 IP(v4)주소를 전체적으로 유일한 VPN-IP 주소로 변환한다. VPN-IP 주소는 관련된 레이블과 합께 BGP 멀티 확장의 NLRI 필드로 전송된다. 64비트 확장된 속성으로 부가 필드는 VPN-IP와 결합되며, VPN FIB를 구축한다.

MPLS 네트워크 및 VPN에 대한 FIB를 생성한

그림 9. MPLS VPN에서 VPN-IP 주소 저장

상태에서 제공자 네트워크 입구 LER에서 고객 LER로부터 IP 패킷을 받으면, 그림 10에서 처럼 제공자 LER은 "VPN_B FIB"로부터 IP Longest Match[9]를 수행하여 "iBGP next hop PE2"를 찾아낸다. 또한 외부 레이블 L2와 내부 레이블 L8을 스택킹(stack of label)한다.

그림 10. MPLS VPN에서 패킷 포워딩

다음의 모든 코어 라우터는 내부 레이블만으로 패킷을 스위치한다. 출구 LER은 내부 레이블을 제거하고, 외부 레이블을 이용하여 VPN 및 고객 LER을 선택하여 패킷을 전송한다. 외부 레이블은 고객 LER에 패킷이 라우트되면서 제거되는 것이다. 이러한 과정을 통하여 source VPN B는 MPLS 망을 거쳐서 destination VPN B로 패킷을 전달한다.

5. 성능평가

패킷이 인터넷을 통해 가는 경로가 대기 시간을 결정하는데, 라우팅 효율성에 영향을 미치는 중요한 요인으로 네트워크 성능(throughput)과 지연(delay) 등이 있다. 패킷이 네트워크를 통과해 가는 경로가 바로 대기시간을 결정하는데, 대기시간은 어플리케이션을 느리게 하며 보다 더 중요한 것은 승인을 받기전에 전송된 패킷의 수를 효율적으로 관리하지 않는 TCP와 같은 프로토콜에게는 큰 피해를 줄 수 있다. 따라서 대기시간, 즉 지연은 네트워크 라우팅 효율성을 측정하는 중요한 요소라고 할 수 있다.

앞에서 설계한 MPLS VPN을 모델링한 후, 네트워크 성능에 따른 지연시간을 측정하여 MPLS VPN의 라우팅 효율성을 성능평가하고 이를 ATM 기반의 VPN과 비교 분석하도록 한다.

5.1 성능평가를 위한 모델링

본 논문에서 성능평가를 위한 MPLS 및 ATM 기반의 VPN은 그림 11과 같은 모델을 갖는다.

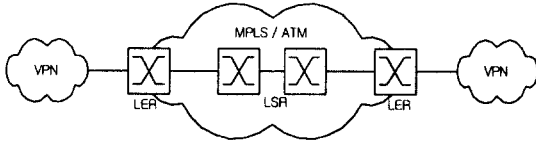



그림 11. 성능평가를 위한 네트워크 모델링

MPLS는 기존의 ATM과는 달리 FEC(즉 VC)로 스트림을 병합(merge)하여 전송하는 동작을 한다. 데이터그램을 병합하기 위하여 AAL5 셀로 단편화된 패킷을 변경된 ATM 스위치에서 하드웨어 입력시킨다. 아래 그림 12과 같이 VC 병합을 위해 변경된 스위칭에서 각 흐름의 셀은 VC 리어셈블리 버퍼(RB)에서 대기하고, 완전히 데이터그램을 수신한 후에는 출력 버퍼로 주입한다[10].

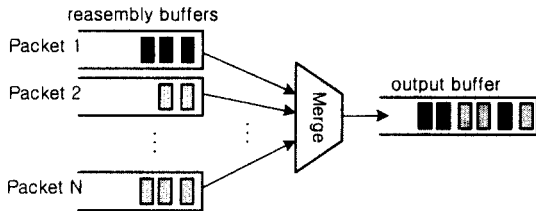



그림 12. MPLS 스위치의 VC 머지

MPLS 도메인의 각 ATM-LSR은 싱글 FIFO (First In First Out) 출력 버퍼에 풀 머지 한다고 가정한다. 이는 주어진 패킷의 셀은 다른 패킷의 셀과는 간섭하지 않는다는 의미이다. 출력 포트의 도착 프로세스는 독립 ON-OFF 프로세스 N의 상태로 모델링할 수 있으며, 입력 포트 N의 하나로부터 각각 들어온다. 셀은 싱글 패킷으로 ON 주기 안에 있으며, OFF 주기 동안 슬롯은 휴지 상태이다. 여기서는 셀이 ON 주기 동안에 연속적으로 전송되는 것을 가정한다. 또한 ON과 OFF 주기 모두 각 입력 포트로부터 같은 파라미터로 기하학적 분배되는 것을 가정하며, 그림 13과 같이 도착 프로세스가 각 RB에 Interrupted Bernouli Process(IBP)로 모델링 할 수 있다. IBP는 다른 상태로 천이하는 확률(a 및 b)과 현 상태

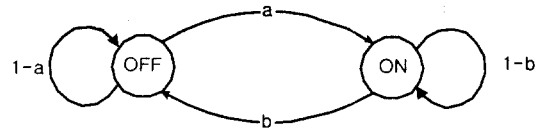



그림 13. ON OFF 도착 프로세스

에 머무르는 확률(1-a 및 1-b)로 프로세스의 상태변화를 모델링한다.

본 논문에서는 Markov chain을 근거로 수학적 함수를 도출하여 네트워크 성능평가를 수행하였다. 주목할 만한 것은 OFF 주기일 때는 버퍼의 내용은 0이어야 하며, chain이 처음 ON 상태로 변화할 때, RB의 내용은 1이 된다. 각 다음의 같은 상태로 변화하며, 네트워크 마지막 OFF 상태로 돌아갈 때까지, 1 증가한다. 그림 14는 위와 같은 특징을 갖는 네트워크 Makov 천이 다이어그램으로 나타낸 것이다[12].

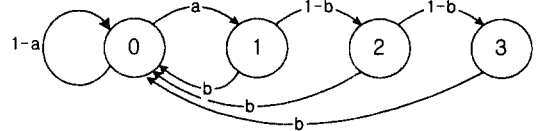



그림 14. Makov 천이 다이어그램

이러한 기본적인 규칙을 바탕으로, 상태(i, j)에서 상태(i', j')로의 천이 확률은 아래와 같은 확률을 갖는다.

$$a_{i,j}=\binom{N-i}{j}\ a^{\ j}\ (1-a)^{N-i-j}$$

여기서 N-j-i ≤i'≤N-j 와 N-i'-j ≤j'≤N-i' 이다. 또한 언더라인 Markov chain에서 상태의 수 M은 M = (N+1) (N+2) / 2개다.

M/D/1은 Memoryless interarrival distribution, Deterministic(Fixed) service time 및 1개의 서버를 나타내는 모델이다. M/D/1 모델의 실례로는 패킷 스위칭 망이나 셀 릴레이 스트림을 제공하는 망에 자주 응용된다.

본 논문에서 고려한 M/D/1 모델은 패킷 발생 확률로서 포아송 분포를 따르고, 노드에서 패킷이 처리되는 서비스 시간은 10ms로 결정적(deterministic)이며, 노드에서 패킷이 출발하는 확률은 기하분포를 따른다고 가정한다. 또한 도착하는 패킷들에 대한 큐

잉 규칙은 FIFO를 적용한다.

큐잉 시스템이 단일 노드로 구성되어 있다면, 활용률(ρ)은 노드가 busy 한 시간적인 부분을 나타낸다. 단일 노드 큐에서 작업의 수에 제한이 없다면, 노드의 활용률은 다음과 같다.

패킷이 도착하는 시간 비율을 t 라하고, 서비스 시간을 x 라 하면, 활용률(ρ)는

$$\rho = (1/t) \cdot (1/x) = \lambda / \mu$$

이며, 시스템에서 n개의 패킷이 존재할 확률(p_n)은

$$p_n = (\rho)^n (1-\rho)$$

이다. 그리고 시스템에서 평균 패킷의 수(L)는 $L = \rho / (1-\rho)$이며, 이 수식은 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$L = \lambda / (\mu - \lambda)$$

큐에서 대기하면서 소비되는 평균 시간(W_q)은 $W_q = (\lambda) / [\mu(\mu-\lambda)]$ 이며, 가정한 모델에서의 전체 평균 시간(W)은

$$W = 1 / (\mu - \lambda)$$

이다.

5.2 성능분석 및 검토

앞 절의 수학적 확률 모델을 컴퓨터 시뮬레이션하여, 아래의 그림 15와 같이 MPLS 기반 VPN의 네트워크 성능(throughput)에 대하여 지연(delay)시간을 측정하여 ATM 기반 VPN의 측정치[11]와 네트워크 효율성을 그래프로 비교하여 나타내었다. 각각은 네트워크 노드에서 입력 버퍼의 수 N이 8, 16의 값을 갖는 경우에 대하여, 네트워크 패킷 발생 비율

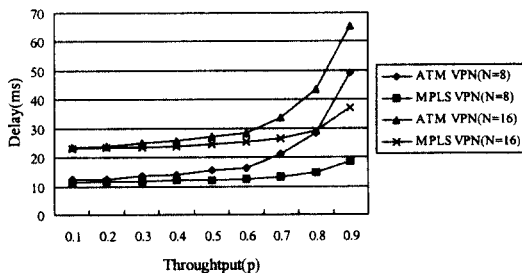



그림 15. MPLS VPN과 ATM VPN의 패킷 지연시간 (N=8, N=16)

을 나타내는 throughput(p)이 $0 \le p \le 1$의 범위를 가질 때, 이에 따른 지연시간을 나타내고 있다.

위의 성능평가 그래프를 살펴보면, N이 16인 경우, MPLS VPN과 ATM VPN 모두 throughput (p)이 0.6이하일 때는 지연이 비슷하였으나 p가 0.6을 증가하여 네트워크 트래픽이 많을 때는 ATM VPN의 지연이 상당히 급증하는 반면에, VC 머지 기능을 가지고 레이블 스위칭을 해주는 MPLS VPN는 완만히 지연 값이 증가하고 있음을 나타내었다. 이러한 결과는 N=8인 경우에도 지연이 좀 낮은 측정치로 마찬가지 결과를 갖는다.

따라서 음성 및 비디오 스트림 등의 멀티미디어 서비스와 같이 네트워크의 트래픽이 상당한 경우(p가 0.6이상인 경우)에는 MPLS VPN이 각 네트워크 노드에서 보다 효율적인 네트워크 라우팅을 해준다는 것을 알 수 있다. 결론적으로 MPLS 기반의 VPN은 상대적으로 작은 지연시간으로 보다 빠른 고속의 라우팅 효율성을 갖음을 확인할 수 있다.

6. 결론 및 향후과제

전 세계적으로 인터넷 응용을 위한 요구는 급속히 증가하였으며, 기존의 IP 기반 서비스의 단점을 극복하고 ATM 망에서의 인터넷 응용 서비스 제공을 위한 기술로 멀티프로토콜 레이블 스위칭(MPLS)이 주목받고 있다. 또한 공공 네트워크를 자사의 전용 네트워크 회선 처럼 사용함으로써 생산성 향상과 비용 절감 효과를 가져올 수 있는 VPN의 요구가 확산되고 있다. MPLS 기반의 VPN은 별도의 ID를 부여하여 터널링 없는 가상공간 할당으로 터널링이 주는 오버헤드와 네트워크 주소 변환이 필요없기 때문에 인터넷 트래픽 급증에 대응할 수 있는 효율적인 VPN 제공을 가능하게 한다.

본 논문에서는 VPN과 MPLS의 개요 및 동작을 분석하였으며, 이를 바탕으로 MPLS 망에서 VPN을 지원하는 방안을 제시하였다. MPLS 망의 동작을 위해 BGP를 이용하는 라우팅 프로토콜 관리부와 LDP를 이용하는 레이블 관리부를 포함하는 MPLS VPN 제어 요소를 설계하고, 이를 토대로 MPLS 망에서 VPN 지원 방안의 동작 절차를 설계하였다.

본 논문에서 설계한 MPLS VPN은 라우팅 정보를 바탕으로 노드마다 주소 변환을 하지 않고 레이블

스와핑을 통하여 제공자 네트워크의 경로를 설정하며, 확장성 및 IP 전송능력 등 MPLS의 장점을 그대로 수용할 수 있도록 하였다. 또한 제안된 MPLS 기반의 IP PVN 제공 방안에 대하여 컴퓨터 네트워크 성능 평가를 수행하여, 네트워크 노드(즉 LSR)에서 입력 큐의 수 N을 변수로 하여 네트워크 처리지연 시간을 측정하였다. 성능 평가 분석 결과 MPLS 기반 VPN은 네트워크 트래픽이 많은 경우인 throughput(p)이 0.6이상일 때, 지연이 급격히 증가하는 ATM 기반 VPN에 비하여 상대적으로 완만하게 지연이 증가하였다. 따라서 성능평가를 통하여, MPLS 기반의 VPN이 고속의 패킷 처리 능력을 갖으며 높은 네트워크 효율성을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다. 더욱이 수요가 증가하고 있는 멀티미디어 서비스와 같이 트래픽이 상당한 경우 MPLS VPN이 라우팅 효율성이 우수함을 확인하였다.

본 논문에서 설계 및 제안한 MPLS 망 기반 VPN 제공 방안은 국내에서도 인터넷 솔루션으로 도입한 MPLS의 응용 서비스로서, 가상 사설망이 투명성있게 확장하기 위한 기초 기반 자료로 활용될 수 있을 것이며, 또한 향후 과제로 아직 표준화가 완성되지 않은 멀티 캐스트 지원 및 트래픽 관리에 대하여 MPLS VPN에서 해결하는 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] R. Callon, P. Doolan, N. Feldman, A, Fredette, G. Swallow, A. Viswanathan, "A Framework for Multiprotocol Label Switching", draft-ietf-mpls-framework-02.txt, IETF, Nov. 1997.

[2] Eric C. Rosen, Arun Viswanathan, Ross Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", draft-ietf-mpls-arch-04.txt, IETF, Feb. 1999.

[3] 정윤희, 최희숙, 손승원, "인터넷에서 VPN 제공 기술 및 동향에 대한 연구", 주간기술동향 제 898호, 1999. 6.

[4] Juha Heinanen, Telia Finland, "VPN support with MPLS", draft-heinanen-mpls-vpn-01.txt, IETF, Sep. 1998.

[5] Jerry Ryan, "Multiprotocol Label Switching (MPLS)", Technology Guide Techguide.com, 1998.

[6] 김부일 외 4인, "ATM 기반의 멀티프로토콜 레이블 스위칭 호 제어기 구조", 한국통신학회, 1999.

[7] D. Jamieson, B. Jamoussi, G.Wright, P. Beaubien, "MPLS VPN Architecture", draft-jamieson-mpls-vpn-00.txt, MPLS Working Group, Aug.1998.

[8] Cisco Systems White Paper, 'Delivering New World Virtual Private Networks with MPLS", 1999. 1.

[9] Williabald Doeringer, Gunter Karjoth, Mehidi Nassehi, "Routing on Longest-Matching Prefixes", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 4. No. 1. February 1996.

[10] Paul Boustead, Joe Chicharo, Gray Andio, "Scalability and Routing Performance of Label Switching Networks", Proceedings of the Globecom '98 Vol. 5, 1998. 11.

[11] Carlos M. Pazos, Mario Gerla, "ATM Virtual Private Networks for Internet Multimedia Traffic", *IEEE International Conference on Communications* , ICC'98, 1998.

[12] Gary N. Higginbottom, "*Performance Evaluation of Communication Networks*", Artech House, 1998.

박 석 천

1977년 고려대학교 전자공학과 공학사를 취득하고, 1982년, 1998년에 동대학 동대학원의 공학석사와 공학박사 학위를 취득하였다.

1979년에서 1985년에는 금성통신연구소 선임연구원으로 역임하였고, 1991년에서 1992년에는 University of California의 교환교수로 역임하였다.

1998년부터 현재 경원대학교 전자계산학과 부교수로써 주요 관심분야로는 인터넷의 멀티미디어 제공을 위한 통신, B-ISDN 시그널링, 무선 ATM 등이 있다.